

Untersuchungen zur Bestimmung der Poissonschen Konstanten an Fichtenholz

Peter Niemz · Daniel Caduff

Published online: 20 Juli 2007
© Springer-Verlag 2007

Zusammenfassung An Fichtenholz wurden mittels inkrementaler Wegaufnehmer die E-Moduln in den drei Hauptschnitttrichtungen (längs, radial, tangential) und die sechs Poissonschen Konstanten nach Klimatisierung im Normalklima bestimmt.

Das Verhältnis der E-Moduln $E_T:E_R:E_L$ wurde mit $1 : 2,43 : 25,4$ ermittelt. Es wurden folgende Poissonsche Konstanten bestimmt: $\mu_{RL} = 0,022$, $\mu_{TL} = 0,015$, $\mu_{LR} = 0,376$, $\mu_{LT} = 0,420$, $\mu_{TR} = 0,335$, $\mu_{RT} = 0,640$.

Research into determination of the Poisson ratio of spruce wood

Abstract On spruce wood, the MOE in all three main directions (longitudinal, radial, tangential) and the six Poisson ratios were determined after climatisation at 20 °C and 65% rel. humidity using an incremental displacement transducer.

The ratios of the different MOEs were calculated as $E_T:E_R:E_L = 1 : 2.43 : 25.4$. The following Poisson ratios were determined: $\mu_{RL} = 0.022$, $\mu_{TL} = 0.015$, $\mu_{LR} = 0.376$, $\mu_{LT} = 0.420$, $\mu_{TR} = 0.335$, $\mu_{RT} = 0.640$.

1 Einleitung

Zu den elastischen Konstanten von Holz in den 3 Hauptschnitttrichtungen längs, radial und tangential liegen relativ wenige Arbeiten vor. Diese Kennwerte werden aber zunehmend für FE-Berechnungen benötigt. Dies be-

trifft sowohl die E-Moduln, die Poissonschen Konstanten aber auch den Einfluss des Winkels zwischen radialer und tangentialer Richtung. Dieser ist z.B. bei der Messung von Eigenspannungen erforderlich. Bisher liegen Ergebnisse von Neuhaus (1981), Bodig und Jayne (1993) sowie Pozgaj et al. (1997) sowie einige ältere Arbeiten wie die von Hörig (1935) (zitiert in Kollmann (1951)) vor. Für die Dehnungsmessung bieten sich induktive oder inkrementale Wegaufnehmer oder optische Systeme z.B. auf der Basis der Messung der Verschiebung von aufgetragenen Specklemustern an. In der vorliegenden Arbeit wurde ein inkrementales Wegmesssystem verwendet.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden an Fichtenholz Messungen im Normalklima bei 20 °C/65% rel. Luftfeuchte in den 3 Hauptschnitttrichtungen bei Zugbelastung durchgeführt. Dabei wurden die 3 E-Moduln und 6 Poissonschen Konstanten bestimmt.

2 Material und Methodik

2.1 Material

Als Versuchsmaterial diente Fichtenholz (*Picea abies* Karst.) aus dem Raum Zürich. Aus diesem wurden die in Abb. 1 dargestellten Prüfkörper hergestellt. Gemessen wurden die drei E-Moduln (längs, radial, tangential) und die Dehnungszahlen sowie die sechs Poissonschen Konstanten und die Querdehnungszahlen.

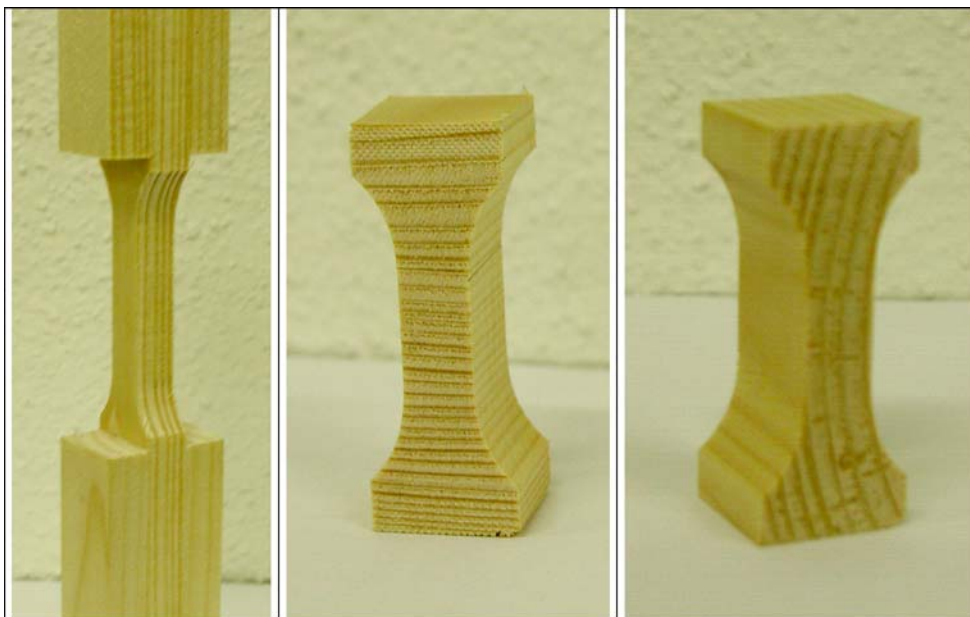
Folgende Probengeometrien wurden verwendet:

- *Bei Belastung in Faserrichtung:* Gesamtlänge 220 mm, Querschnittsabmessungen im belasteten Bereich 10 mm (radial) × 10 mm (tangential)

P. Niemz (✉) · D. Caduff
Institut für Baustoffe, ETH Zürich,
Schafmattstrasse 6,
HIF E25.2, 8093 Zürich, Schweiz
e-mail: niemzp@ethz.ch

Abb. 1 Verwendete Prüfkörper
(links longitudinal, Mitte radial,
rechts tangential)

Fig. 1 Used samples



- Bei Belastung in Radialrichtung: Gesamtlänge 55 mm, Querschnittsabmessungen im belasteten Bereich 20 mm (tangential) \times 10 mm (radial)
- Bei Belastung in Tangentialrichtung: Gesamtlänge 55 mm, Querschnittsabmessungen im belasteten Bereich 10 mm (radial) \times 20 mm (tangential)

Je Variante wurden 20 Prüfkörper verwendet. Zusätzlich wurden die Rohdichte im Normklima und die Holzfeuchte bestimmt. Die Prüfung erfolgte nach Klimatisierung im Normklima bei 20 °C /65% rel. Luftfeuchte.

2.2 Methodik der Dichtemessung

Je Prüfkörper wurde die Dichte nach DIN 52182 bestimmt. Bei der Zugbelastung in Faserrichtung wurde die Dichte am Versuchsende aus einem herausgeschnittenen 10 mm langen Stück der Zugprobe ermittelt. An den Radial- und Tangentialproben wurde das Volumen durch Einscannen der Proben und Ausmessen der Fläche über ein Polygonnetz (Abb. 2) bestimmt. Das Polygonnetz bestand aus ca. 60 Polygonpunkten, um die Umrisse der Proben genau zu erfassen. Aus der berechneten Fläche und der Probendicke wurde das Volumen bestimmt. Die Masse wurde mittels Waage ermittelt.

2.3 Methodik der Dehnungsmessung

Die Belastung erfolgte mit einer Universalprüfmaschine. Dabei wurden Kraft und Weg aufgezeichnet. Die Messung der Längsdehnung erfolgte in Belastungsrichtung mit dem Messsystem Multisens der Fa. Zwick. Über elektronische

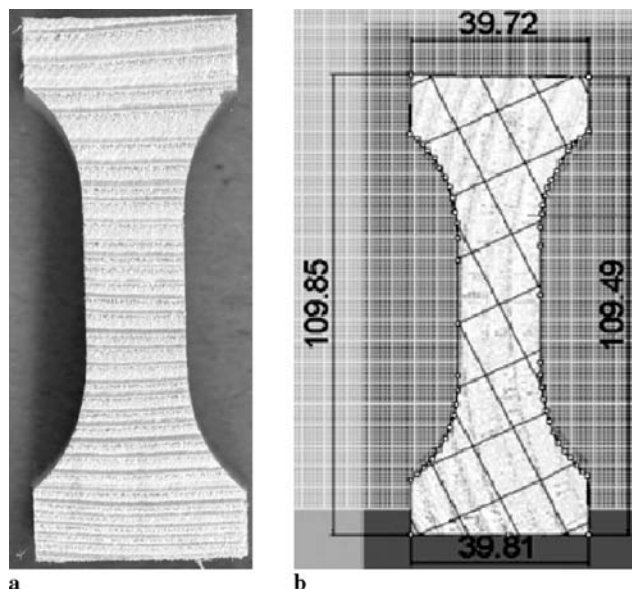


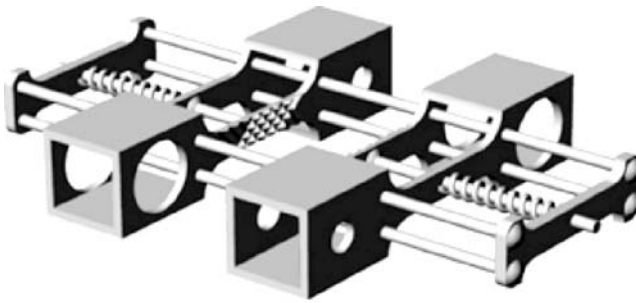
Abb. 2 (a) Eingescannte Probe und (b) Raster für die Volumenbestimmung mit Bemassung

Fig. 2 (a) Scanned sample and (b) raster for the calculation of the sample volume

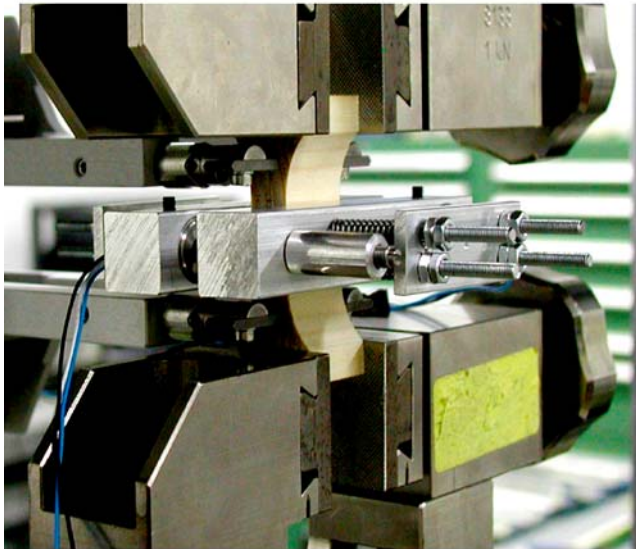
Wegaufnehmer wird die Längenänderung inkremental gemessen. Senkrecht zur Belastungsrichtung (*Querdehnung*) wurde das in Abb. 3 dargestellte Messsystem verwendet. Für die Wegmessung wurden Tauchanker eingesetzt.

Diese hatten eine Messgenauigkeit von 0,0015 mm. Durch das flächige Andrücken des Sensors konnten die Rauigkeitsunterschiede ausgeglichen werden.

Die Messung erfolgte im elastischen Bereich bei einer Last bis ca. 30% der Bruchlast. Die Proben wurden dreimal hintereinander belastet. Dabei diente die erste Belas-



a



b

Abb. 3 Versuchseinrichtung zur Messung der Querdehnung. (a) Schematische Darstellung der Querdehnungsmesseinrichtung; (b) Versuchsaufbau

Fig. 3 Test facility for the determination of the transverse strain. (a) Schematic diagram of the measuring device for transverse strain; (b) Experimental setup

tung nur dem Abbau der Eigenspannungen. Aus der zweiten und dritten Messung wurde der Mittelwert je Probe errechnet.

2.4 Berechnung der Poissonschen Konstanten

Die Poissonschen Konstanten wurden aus dem Verhältnis von Querdehnung/Längsdehnung berechnet.

$$\mu = -\frac{\varepsilon_{\text{quer}}}{\varepsilon_{\text{längs}}}, \quad (1)$$

also z.B.

$$\mu_{TL} = -\frac{\varepsilon_{\text{längs}}}{\varepsilon_{\text{Tang.}}}$$

Die Bezeichnung der Indizes wurde nach Bodig und Jayne (1993) gewählt. Dabei gibt der erste Koeffizient die Belastungsrichtung (Längsdehnung) und der zweite die Richtung der Querkontraktion an.

2.5 Festigkeitsmessung

Nach Abschluss der Versuche zur Bestimmung der elastischen Konstanten wurde die Zugfestigkeit in den drei Hauptschnitttrichtungen bestimmt.

3 Versuchsergebnisse

Die Rohdichte schwankte zwischen den Schnitttrichtungen, die mittlere Holzfeuchte betrug 12,1%. Der Einfluss der Probengeometrie (insbesondere bei den tangentialen Proben) ist dabei zu berücksichtigen (Einfluss der Jahringbreite bei der relativ kleinen Probenabmessung).

Tabelle 1 zeigt die E-Moduln. Als Vergleichswerte sind die von Neuhaus (1981) bestimmten Kennwerte aufgeführt. Das Verhältnis der E-Moduln $E_T:E_R:E_L$ wurde als 1 : 2,43 : 25,4 ermittelt. Zum Vergleich geben Pozgaj et al. (1997) sowie Noack und Schwab (1986) ein Verhältnis von 1 : 2,1 : 27 an. Nach Neuhaus (1981) ergibt sich ein Verhältnis von 1 : 1,9 : 28,5 (Tabelle 1) und nach Bodig und Jayne (1993) ein Verhältnis von 1 : 1,6 : 20.

Die ermittelten Größenordnungen der E-Moduli stimmen also überein. Hier ist auch der Einfluss des Standortes der Bäume zu berücksichtigen. Die Variationskoeffizienten sind relativ hoch, hier müsste der Versuchsumfang deutlich erhöht werden.

Der deutlich höhere E-Modul in radialer Richtung dürfte u.a. auf den Einfluss der Holzstrahlen zurückzuführen sein (Burgert 2000). Die von verschiedenen Autoren ermittelten Unterschiede im Verhältnis $E_R:E_T$ dürften auch

Tabelle 1 Elastizitätsmoduln für die drei Hauptschnitttrichtungen für Fichtenholz

Table 1 MOE for all three main directions of spruce wood

Belastungsrichtung	Literaturwerte (Mittelwerte) E-Modul nach Neuhaus in N/mm ²	Rohdichte in kg/m ³ x	Eigene Messungen			
			E-Modul in N/mm ² x	v [%]	Zugfestigkeit in N/mm ² x	v [%]
longitudinal	11990	435	11496	20	82,6	23,8
radial	817	486	1099	12	4,0	20,0
tangential	420	415	452	13	3,0	13,3

Tabelle 2 Poissonsche Konstanten für Fichtenholz. 1. Index: Kraft, 2. Index: Kontraktion**Table 2** Poisson ratio of spruce wood. 1. Index: force, 2. Index: contraction

	Referenzwerte		eigene Messungen	
	Neuhaus [-]	Bodig & Jayne [-]	Mittelwert [-]	ν [%]
μ_{RL}	0,055	0,041	0,022	62
μ_{TL}	0,035	0,033	0,015	42
μ_{LR}	0,410	0,37	0,376	26
μ_{LT}	0,550	0,42	0,420	18
μ_{TR}	0,311	0,35	0,335	33
μ_{RT}	0,599	0,47	0,640	17

auf die verschiedenen Jahrringbreiten zurückzuführen sein. Diese variieren je nach Standort stark.

Tabelle 2 zeigt die bestimmten Poissonschen Konstanten und zum Vergleich die Werte von Neuhaus (1981) und Bodig und Jayne (1993). Auch hier stimmen die Größenordnungen mit denen der Messungen von Neuhaus (1981) überein. In diesem Bereich liegen auch die von Bodig und Jayne (1993) für Nadelholz angegebenen Werte.

Die Zugfestigkeiten tangential : radial : längs verhalten sich wie 1 : 1,33 : 27,5.

Generell liegt auf dem Gebiet der Ermittlung der elastischen Konstanten in den Hauptschnitttrichtungen ein erheblicher Nachholbedarf. Dies betrifft insbesondere den Einfluss der Holzfeuchte aber auch der Belastungsdauer.

Literatur

- Bodig J, Jayne BA (1993) Mechanics of wood and wood composites. Krieger, Malabar, Florida
- Hörig H (1935) Anwendung der Elastizitätstheorie anisotroper Körper auf Messungen an Holz. Ingenieurarchiv 6:8–14
- Burgert I (2000) Die mechanische Bedeutung der Holzstrahlen im lebenden Baum. Dissertation, Hamburg, pp. 173
- DIN 52182 (1976) Prüfung von Holz; Bestimmung der Rohdichte
- Kollmann F (1951) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe (Bd. 1). 2. Aufl. Springer, Berlin
- Neuhaus, HF (1981) Elastizitätszahlen von Fichtenholz. Diss. Ruhr-universität Bochum
- Noack D, Schwab E In: Halász, R v; Scheer, C. (Hrsg. 1986) Holzbau-Taschenbuch (Bd. 1). 8. Aufl. Architektur techn. Wissenschaften, Berlin
- Pozgaj A, Chonavec D, Kurjatko S, Babiak M (1997) Struktura a vlosnost dreva. Priroda, Bratislava